

**INFORME FINAL DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO DE INNOVACIÓN
DOCENTE DE LA CONVOCATORIA 2011/2012**

TÍTULO DEL PROYECTO:	“Creación de <i>scripts</i> de herramientas de cálculo numérico como material docente complementario”
REFERENCIA:	ID11/116
COORDINADOR:	Julio San Román Álvarez de Lara
POFESORES COLABORADORES:	Luis Plaja Rustein Íñigo Juan Sola Larrañaga
ASIGNATURAS IMPLICADAS:	* Fotónica (Licenciatura en Física y Grado en Física)

Esta memoria está organizada de la siguiente manera:

- Comenzaremos recordando los objetivos principales de este proyecto de Innovación Docente.
- Expondremos cómo se desarrolló el proyecto a lo largo del curso.
- Comentaremos la posibilidad de continuar con el proyecto durante el curso que viene, subrayando los puntos donde se debe ser especialmente cuidadoso según la experiencia adquirida durante este año.
- Por último acabaremos recopilando las conclusiones obtenidas.

1. Objetivos Principales:

Los objetivos principales que se plantearon en este Proyecto de Innovación Docente fueron los siguientes:

- Ayudar a los alumnos a profundizar en el entendimiento de diversos fenómenos del ámbito de la fotónica mediante el uso de *scripts* (programas sencillos) proporcionados por el profesorado como material docente complementario.
- Fomentar en los alumnos la inquietud por entender, por investigar situaciones nuevas, en definitiva, la inquietud por experimentar, aunque sea en un entorno virtual.
- Introducir a los alumnos en el uso de herramientas de cálculo numérico como complemento del material docente tradicional (apuntes y bibliografía).

2. Desarrollo del Proyecto:

El desarrollo del Proyecto se puede separar en dos partes muy distintas: la adaptación del aula para poder utilizar el ordenador de aula, algo que requería de la colaboración de los informáticos responsables de los ordenadores del aula, y la parte de preparación y ejecución de los distintos *scripts*.

En cuanto a la primera parte debemos remarcar la estupenda disposición mostrada por los informáticos de la Facultad de Ciencias. Recién comenzado el curso (en septiembre de 2011) nos pusimos en contacto con ellos para explicarles nuestras necesidades y no pusieron ningún problema. Dado que la asignatura se cursaba en el segundo semestre, propusieron posponer la instalación del software necesario hasta que se acercara el comienzo del mismo y así fue. También recomendaron que, de los dos programas que solicitamos usar: el Mathematica y el Matlab, que intentáramos usar más el primero ya que utiliza bastantes menos recursos del ordenador y los ordenadores del aula no tienen mucha potencia de cálculo. Recogida esta sugerencia, que tuvimos en cuenta para intentar desarrollar la mayoría de los *scripts* para el Mathematica, debemos remarcar que, al comienzo del segundo semestre del curso 2011/2012, el aula VI del edificio Trilingüe en el que se ha impartido la asignatura de Fotónica tenía un ordenador en el que estaba instalado el Mathematica y el Matlab, como se había solicitado. Sin duda de agradecer esta eficiente colaboración del Personal de las aulas de informática de la Facultad de Ciencias.

La segunda parte del desarrollo del Proyecto consistía en preparar los *scripts* y su posible uso a lo largo del curso. Este año hemos desarrollado cinco pequeños programas que se corresponden con conceptos de los primeros temas del programa de la asignatura. Antes de pasar a describir cada uno de los *scripts* que hemos desarrollado conviene recordar el programa de la asignatura, que ha constado de diez temas:

1. Teoría clásica de la dispersión.

2. Propagación del campo electromagnético.
3. Propiedades ópticas de los materiales.
4. Campos en cavidades.
5. Propagación de pulsos.
6. El láser.
7. Láseres de gas.
8. Láseres de estado sólido.
9. LEDs y láseres de semiconductor.
10. Fibras ópticas.

Una vez recordado el temario pasamos a describir los diferentes *scripts*, indicando el tema con el que está más directamente relacionado y, también, cómo se diseñó cada uno de los programas:

SCRIPT 1: Modelo de Lorentz de la dispersión. (Tema 1. Tipo: Magistral)

Se trata de un modelo sencillo que explica la respuesta óptica de un medio material. Ayuda a identificar fenomenologías muy importantes en este contexto como son el transitorio, la fluorescencia o la dispersión. Evaluar cómo se modifican los resultados obtenidos con este *script*, al ir cambiando los diferentes parámetros del medio y de la luz, es una buena ayuda para terminar de entender bien todos estos conceptos. Véase como ejemplo la Figura 1, que se obtiene directamente de este *script*.

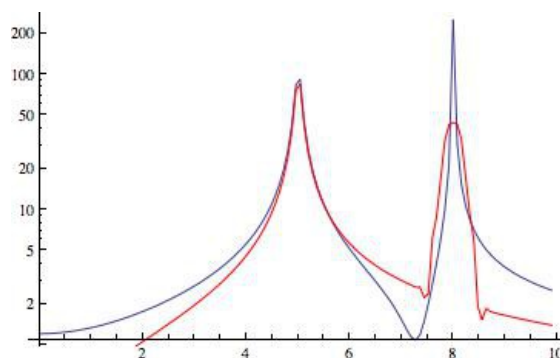


Fig. 1.- *Espectro de emisión de un medio con frecuencia propia de 5 u.f. (unidades de frecuencia) y un campo electromagnético de frecuencia 8 u.f. El caso azul corresponde a un campo monocromático mientras que el rojo se trata de un pulso.*

Hemos definido este *script* como de tipo magistral. Con ello queremos indicar que está diseñado para que sea el profesor quien cambie los parámetros del programa para observar las variaciones en los resultados, ayudando así a los alumnos a entender el significado y la influencia de cada uno de los parámetros del modelo.

SCRIPT 2: Relaciones de Kramers-Kronig. (Tema 1. Tipo: Práctico)

Las relaciones de Kramers-Kronig surgen de la causalidad de los fenómenos físicos. Esta relación se aplica al índice de refracción (entre muchas otras magnitudes) e implica que la parte real e imaginaria del índice de refracción están relacionadas de tal manera que conocida una se conoce la otra. Se trata de una relación muy potente para conocer la respuesta óptica completa de un material. Véase como ejemplo las Figuras 2 y 3, que se obtienen directamente de este *script*.

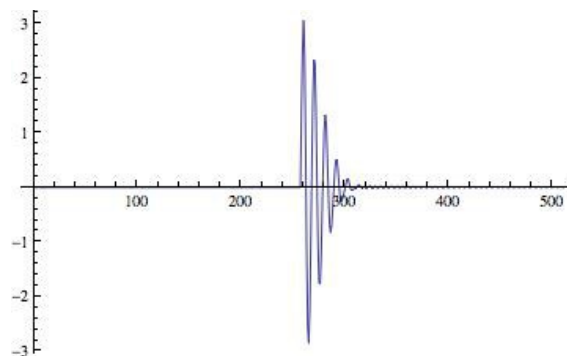


Fig. 2: *Respuesta temporal del medio a un campo electromagnético. En este caso se trata de una respuesta causal.*

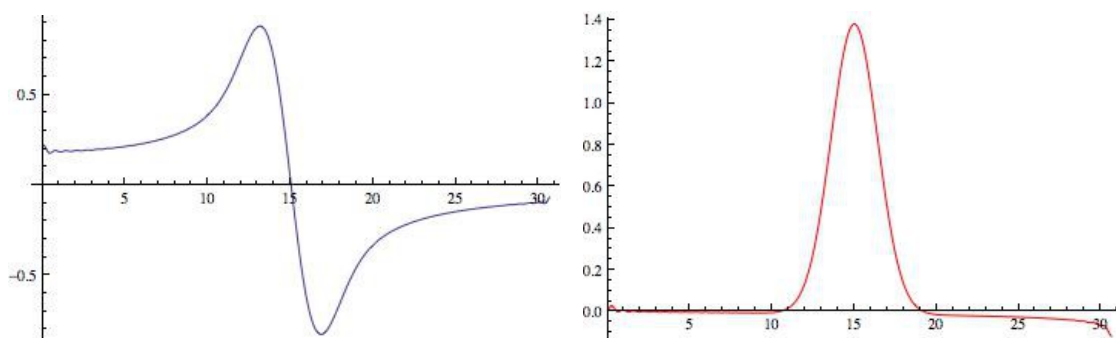


Fig. 3: *Parte real (izquierda) e imaginaria (derecha) asociada a la respuesta mostrada en la Figura 2. Cumplen la propiedad de que una se puede obtener de la otra por medio de las relaciones de Kramers-Kronig.*

Hemos definido este *script* como de tipo práctico. Con ello queremos indicar que está diseñado para que los alumnos la utilicen para realizar un ejercicio. Es el alumno (o

grupo de alumnos) el que debe manejar el programa para dar respuesta a ciertas preguntas lanzadas por parte de los profesores.

La dinámica particular utilizada en este caso consistió en hacer dos grupos de alumnos, después de haberles presentado a todos una introducción general sobre las relaciones de Kramers-Kronig. A uno de los grupos se le dio un *script* con la parte real del índice de refracción y se le pidió que calculara la parte imaginaria. Al otro grupo se le dio otro *script* con la parte imaginaria del índice de refracción y se le pidió que calculara la parte real. Al final de la clase se reagruparon los alumnos y se compartieron las estrategias y soluciones al problema. En este caso tuvimos que llevar a clase un ordenador portátil del Área de Óptica para que cada uno de los grupos pudiera trabajar de manera simultánea (uno con el ordenador del aula y otro con el ordenador portátil).

SCRIPT 3: Acusto-óptica. (Tema 3. Tipo: Investigación)

En la parte de teoría se presentaron los conceptos generales de la acusto-óptica. Al final de esta parte se propuso realizar un ejercicio numérico sobre esta fenomenología. Consistía en calcular la posibilidad de construir un divisor de haz con una onda acústica para un láser de alta potencia, del estilo a los que se manejan en el laboratorio del área o en el Centro de Láseres Pulsados (CLPU).

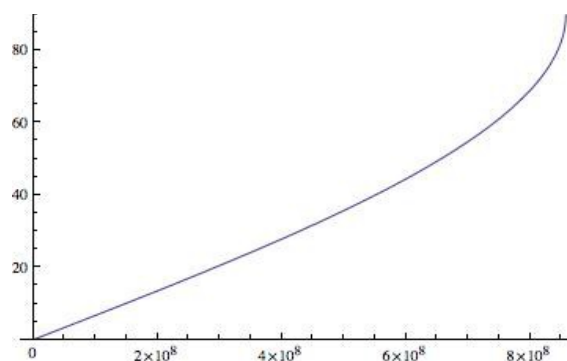


Fig. 4.- *Ángulo de Bragg para diferentes frecuencias. Las frecuencias en el rango del sonido y ultrasonido corresponden a las frecuencias más bajas (hasta 2.0×10^8).*

Hemos definido este *script* como de tipo investigación. Con ello queremos indicar que está diseñado para que el alumno vaya haciendo los números necesarios para comprobar si la realización de este dispositivo acusto-óptico es posible o no.

De nuevo la dinámica propuesta fue la de dos grupos y cada uno de ellos debía

buscar la mejor manera de diseñar el dispositivo, variando el tipo de onda acústico o el material utilizado en el dispositivo.

SCRIPT 4: Modos longitudinales de una cavidad óptica. (Tema 4. Tipo: Magistral)

Este *script* consiste en ver cómo cambia la estructura espectral inducida por una cavidad en función de los parámetros de la misma (reflectancia de los espejos, absorción del medio interno, etcétera). Con este programa se revisan los conceptos básicos de los modos longitudinales de una cavidad óptica: los modos longitudinales y sus propiedades.

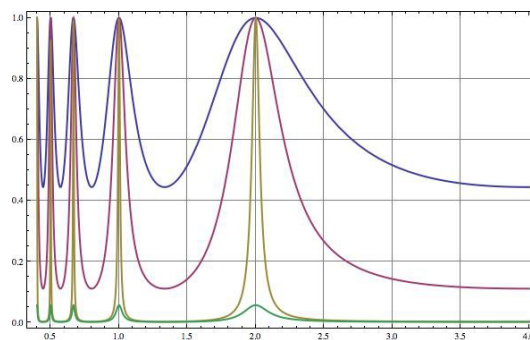


Fig. 5.- Estructura espectral de los modos longitudinales debidos a una cavidad con diferentes reflectividades en sus espejos ($R1=R2=0.9$ (amarillo), $R1=R2=0.5$ (violeta), $R1=R2=0.1$ (azul) y $R1=0.99, R2=0.5$ (verde))

Se trata de un *script* de tipo magistral y se diseñó para que el profesor cambiara los parámetros de la cavidad y mostrara mediante diferentes figuras los cambios en los modos longitudinales y sus propiedades.

SCRIPT 5: Dispersión de pulsos. (Tema 5. Tipo: Práctico)

Se trata de reflexionar sobre los efectos que inducen los diferentes términos del desarrollo de Taylor de la dependencia del vector de ondas con la frecuencia en la propagación de un pulso de luz. En otras palabras, reflexionar sobre los efectos inducidos por la dispersión del medio en la propagación de un pulso de luz. Aquí aparecen de manera natural conceptos como la velocidad de fase, la velocidad de grupo, la dispersión de la velocidad de grupo y los órdenes superiores que se deseen.

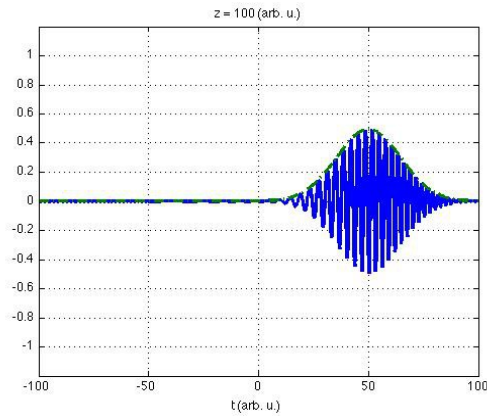


Fig. 6.- *Imagen de la estructura de un pulso al haberse propagado 100 unidades de longitud por un medio dispersivo. Aquí ya se observa cómo el pulso se está chirpeando por efecto de la dispersión de velocidad de grupo.*

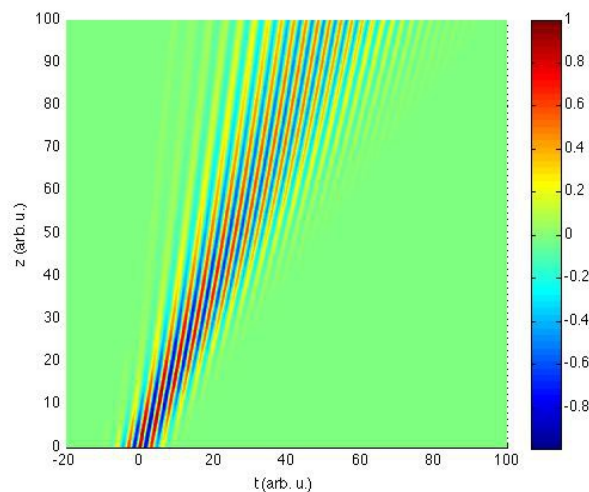


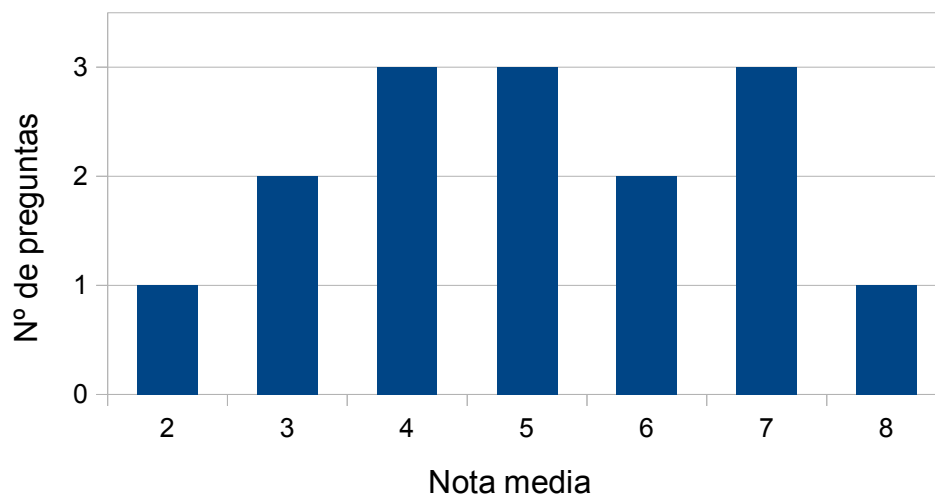
Fig. 7.- *Esta gráfica resume la propagación de un pulso por un medio dispersivo. Muestra propiedades típicas de los medios dispersivos, como la diferencia entre la velocidad de fase y la de grupo y el ensanchamiento temporal debido a la dispersión de velocidad de grupo.*

Este *script* es de tipo práctico. De nuevo se hicieron dos grupos y a cada uno de ellos se le propuso resolver ciertas cuestiones manejando el *script*, para ir descubriendo los diferentes efectos asociados a la dispersión. De nuevo tuvimos que recurrir a un ordenador portátil del área para que cada los dos grupos pudieran trabajar de manera simultánea.

La respuesta general de los alumnos al uso de este tipo de herramientas ha

sido muy positiva, especialmente en el caso de los *scripts* de tipo práctico. Los *scripts* de tipo magistral provocaban una ruptura en el ritmo de clase, recuperando en gran medida la atención de los alumnos. El *script* de tipo investigación fue difícil de evaluar ya que no hubo tiempo a lo largo del curso para concluirlo en el aula, con lo que el trabajo quedó pendiente para hacerse en casa. Los *scripts* prácticos fueron motivadores, generaron discusión dentro de cada uno de los grupos y fueron herramientas muy prácticas para asentar conceptos o motivar un estudio más profundo de la fenomenología descrita en el *script*.

Para intentar evaluar de una manera un poco más objetiva, y poder contrastar las sensaciones percibidas por los profesores anteriormente comentadas, podemos hacer uso del cuestionario de conceptos que los alumnos tuvieron que realizar como parte de la evaluación final. El cuestionario constaba de quince preguntas que los alumnos debían responder de manera breve pero razonada. Mirando la nota media de cada una de las preguntas del cuestionario obtenemos el siguiente resultado:



Número de preguntas del cuestionario que obtuvieron cierta nota media.

Como vemos en la figura hubo cuatro preguntas que se respondieron, en promedio bastante bien. Una de ellas tuvo una nota media de 8 mientras que otras tres tuvieron una nota media de 7. Una de estas tres preguntas que tuvieron nota media de 7

estaba directamente relacionada con los conceptos manejados en el último *script* que hemos descrito. Aunque no nos atrevemos a vincular este buen resultado con el uso del *script*, nos parece que ratifica en parte las sensaciones que obtuvimos los profesores, con lo que nos reafirma en la bondad de este tipo de herramientas.

3. Propuesta de futuro:

Aunque la experiencia docente empleada a lo largo del curso ha sido muy positiva, consideramos que no está del todo completa ya que en este curso no hemos cubierto todo el temario con herramientas de este estilo. Somos conscientes de que hay posibilidades de crear algún *script* nuevo que permita complementar nuevas partes del programa y seguir así mejorando el aprendizaje de los principales conceptos de la asignatura. Continuaremos en esta línea el próximo curso, tanto en la licenciatura como en el grado.

En este apartado, en el que hablamos de la continuación del proyecto a lo largo del curso que viene, cabe resaltar una dificultad con la que nos hemos encontrado a lo largo de este curso: la temporalización de estas actividades. La experiencia adquirida en este curso es que este tipo de herramientas, especialmente las de tipo práctico y de investigación, consumen bastante tiempo y requieren de una programación cuidadosa para poder ver el programa completo de la asignatura.

4. Conclusiones:

Las conclusiones obtenidas tras la puesta en marcha de este proyecto de uso de *scripts* como herramientas docentes complementarias son las siguientes:

- La conclusión principal es que este tipo de herramientas numéricas han sido un

complemento idóneo para asentar los conceptos importantes de un tema.

- Hemos utilizado *scripts* para consolidar conceptos ya revisados en clase (de consolidación) y también *scripts* previos a ver los conceptos en clase (de motivación). Ambas modalidades han resultado ser muy útiles, aunque debo decir que el segundo tipo ha resultado, atendiendo a la participación e interés mostrado por los alumnos en clase, el más exitoso.
- La introducción de los diferentes *scripts* a lo largo del programa ha variado el ritmo de la asignatura, especialmente con aquellos que más participación directa de los alumnos requerían, lo que ha ayudado a mantener una buena motivación según avanzaba el temario.
- Hemos de remarcar que en aquellos casos en los que quedara algo pendiente de hacer en el aula, por falta de tiempo, no tuvimos sensación de que se acabara en casa. Debemos entonces decir que el objetivo de estimular la inquietud por entender e investigar diversos fenómenos físicos se cumplió parcialmente, ya que se consiguió plenamente en el aula pero no fuera de ella.
- Por último, subrayar que el objetivo de introducir a los alumnos en el uso de herramientas numéricas se cumplió por completo. Cabe comentar que, en el caso particular de los *scripts* de tipo práctico, los alumnos tuvieron que hacer programas simples para lograr dar respuesta a algunas de las preguntas planteadas de manera satisfactoria, comprobando personalmente la bondad de estas herramientas.

Como conclusión final debemos decir que el Proyecto ha sido un éxito, y que seguiremos utilizando estas herramientas numéricas como parte de las actividades de aprendizaje, motivación y dinamización de la asignatura.